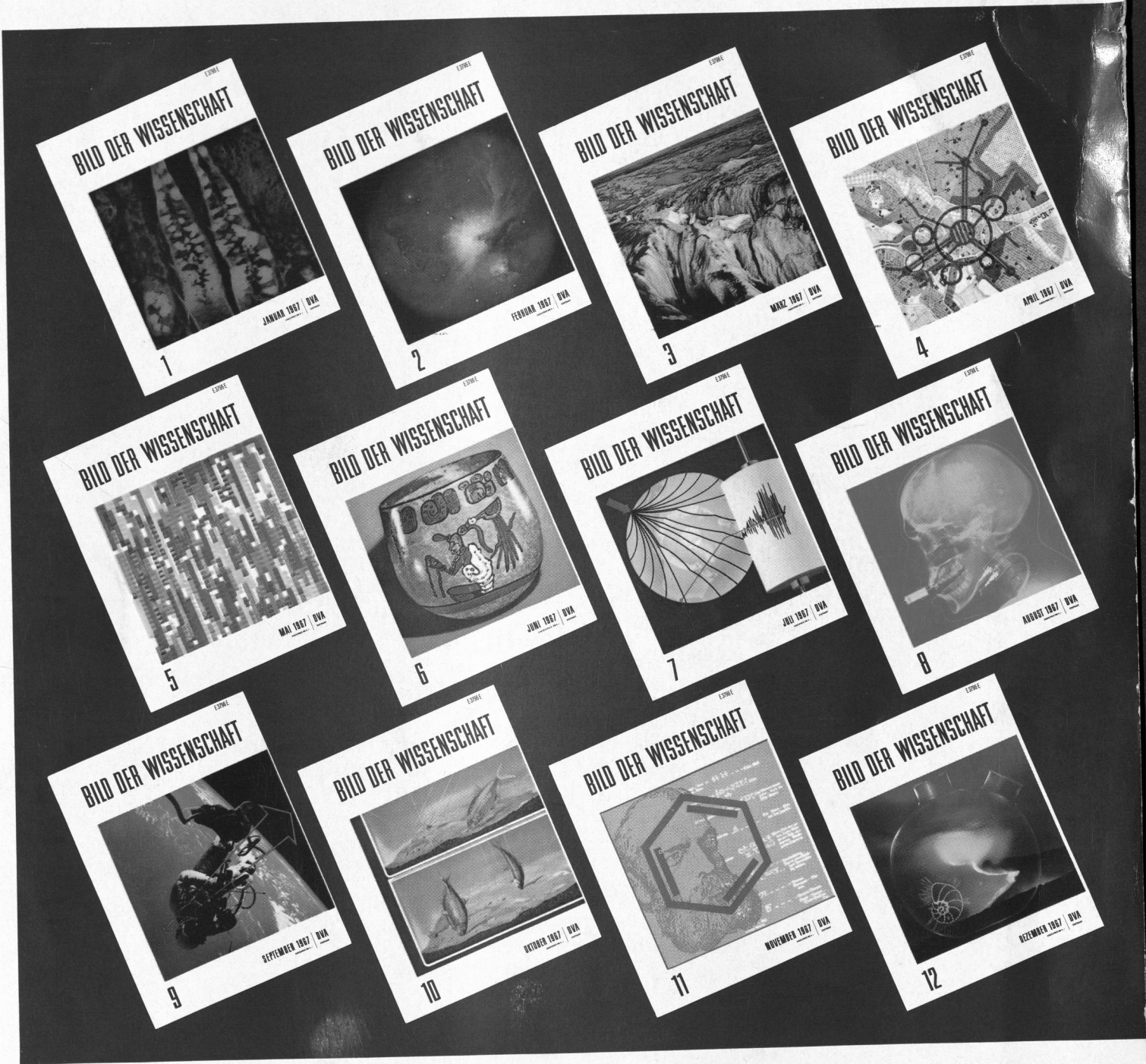


Seibold

Thiele

BILD DER WISSENSCHAFT



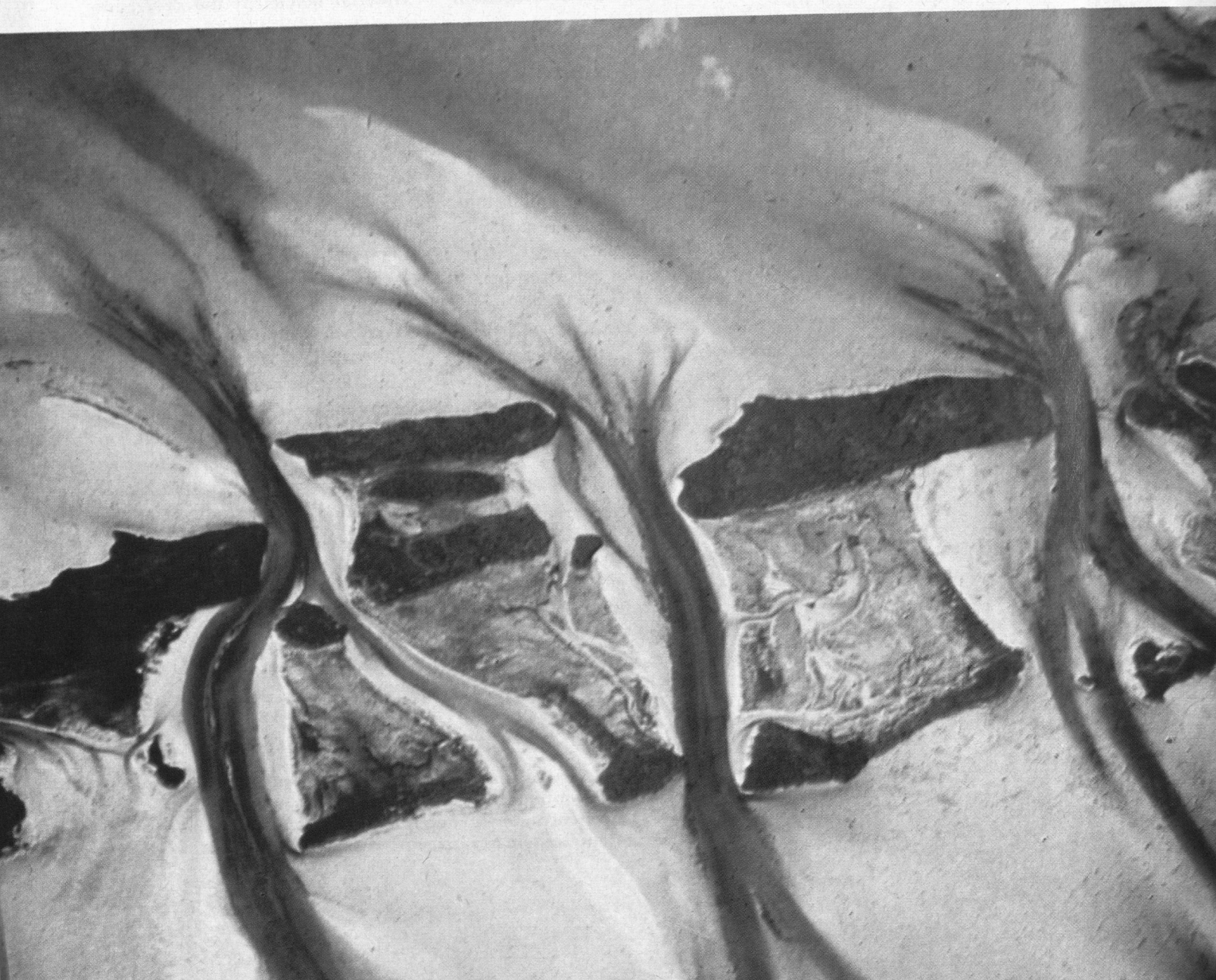
1968

Autorensonderdruck

Mit der fortschreitenden Kenntnis der Meeresströmungen eröffnen sich für den Geologen ganz neue Wege, um die Geschichte der Ozeane aufzuklären und die marinen Gesteine der Vorzeit, die im Untergrund der Weltmeere entstanden, besser und vollständiger deuten und verstehen zu können:

Eugen Seibold

Meeresströmungen und ihre geologische Wirkung





Daß Meeresströmungen das Klima Großbritanniens und die Reisegeschwindigkeit von Schiffen beeinflussen, ist allgemein bekannt, ebenso, daß sich solche Strömungen auf die Zugänglichkeit des Hafens von Murmansk und die Ausbreitung der Heringsschwärme auswirken; oder auch, daß die Besiedlungsgeschichte der Osterinsel mit ihnen zu tun hat. Dagegen löst die Behauptung, Meeresströmungen hätten auch die Erdgeschichte beeinflußt, zumeist Verwunderung aus. Tatsächlich aber sind geologische Vorgänge größten Ausmaßes von Meeresströmungen bewirkt worden. Für die speziellen Mechanismen, die

dabei ins Spiel kommen, zunächst nur zwei Beispiele. Eine Meeresströmung kann von einer Küste Material wegspülen, mit sich forttragen und in kleinerer oder größerer Entfernung wieder absetzen. Eine Meeresströmung kann aber auch die Bildung von sogenannten Sedimentgesteinen stark beeinflussen, die zum Beispiel durch die Ablagerung der Skelette kleiner im Wasser schwebender Organismen auf dem Meeresboden entstehen: Die Strömung führt Wasser von geeigneter Temperatur heran und schafft so die günstigsten Lebensbedingungen für die „gesteinsbildenden“ Einzeller.

Beginnen wir mit Vorgängen, die sich in unserer Zeit und in nächster Nähe abspielen: den durch Strömungen bewirkten Veränderungen im Flachmeer und an den Küsten. Der Meeresboden ist dort nicht in Ruhe, er wandert: Weite Teile bis zum Land hin können abgetragen und fortgespült werden. Badestrände verschwinden, die Küste bricht ab – in Deutschland zum Beispiel vor Sylt, aber auch an vielen Stellen der Ostseeküste. Das aufgenommene Material – Gerölle, Sand und Schlamm – lagert sich in anderen Bereichen wieder ab, dringt in Flußmündungen ein und erschwert den Schiffsverkehr; man denke zum Bei-

Luftbilder zeigen die Wirkungen von Meeresströmungen an Küsten und in Flachmeeren – Modelle für geologische Vorgänge. Links: Beim Durchqueren einer Inselkette der Bahamas tiefen Ebbe- und Flutstrom zwischen den Inseln ein. Sedimente werden davor und dahinter abgelagert. – Oben: Wellen lassen an der Ostsee küstenparallele Sandbänke entstehen. Die asymmetrische Zackung der Strandlinie läßt auf einen Küstenstrom nach links schließen.

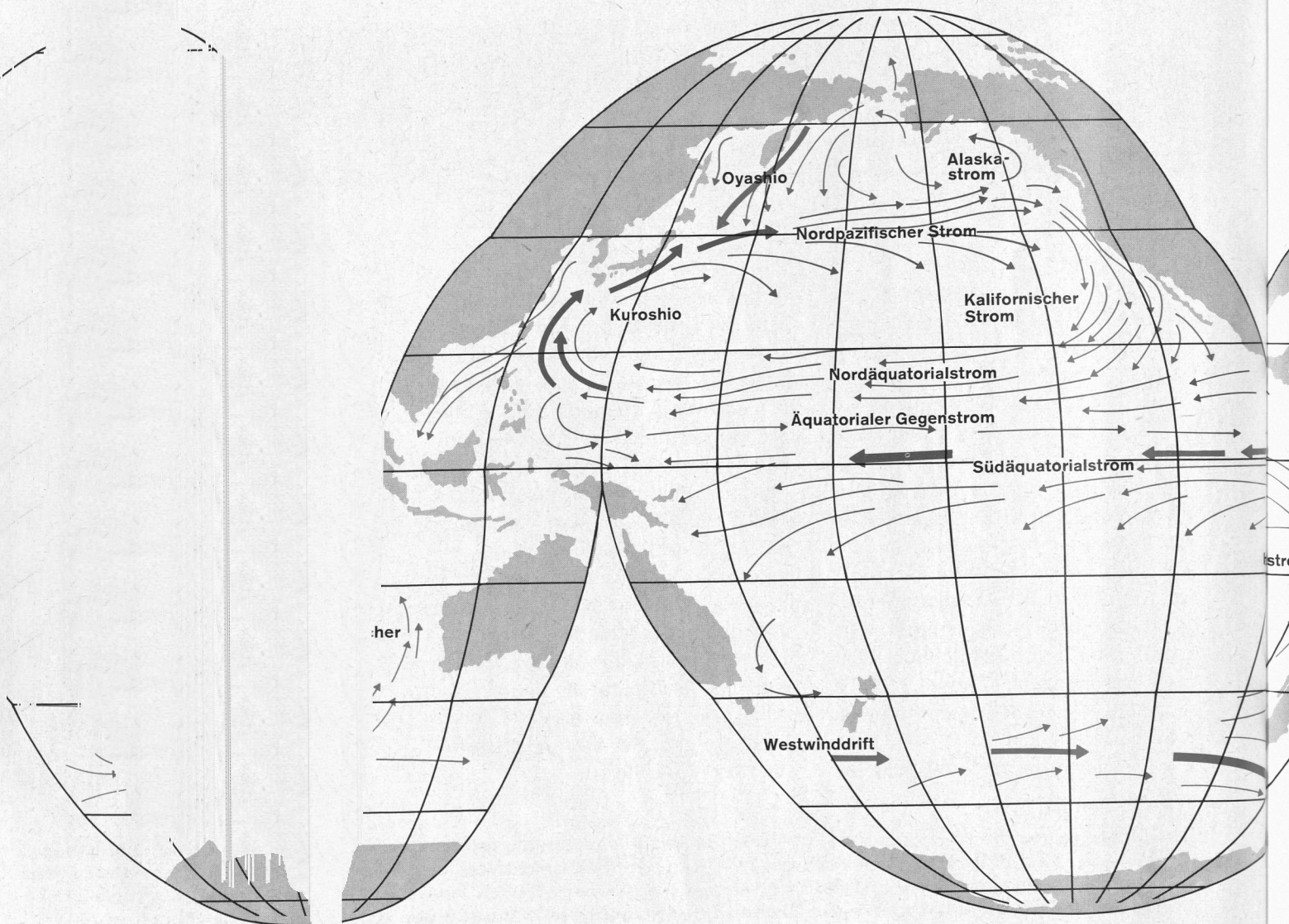
spiel an Wilhelmshaven, Bremen, Hamburg.

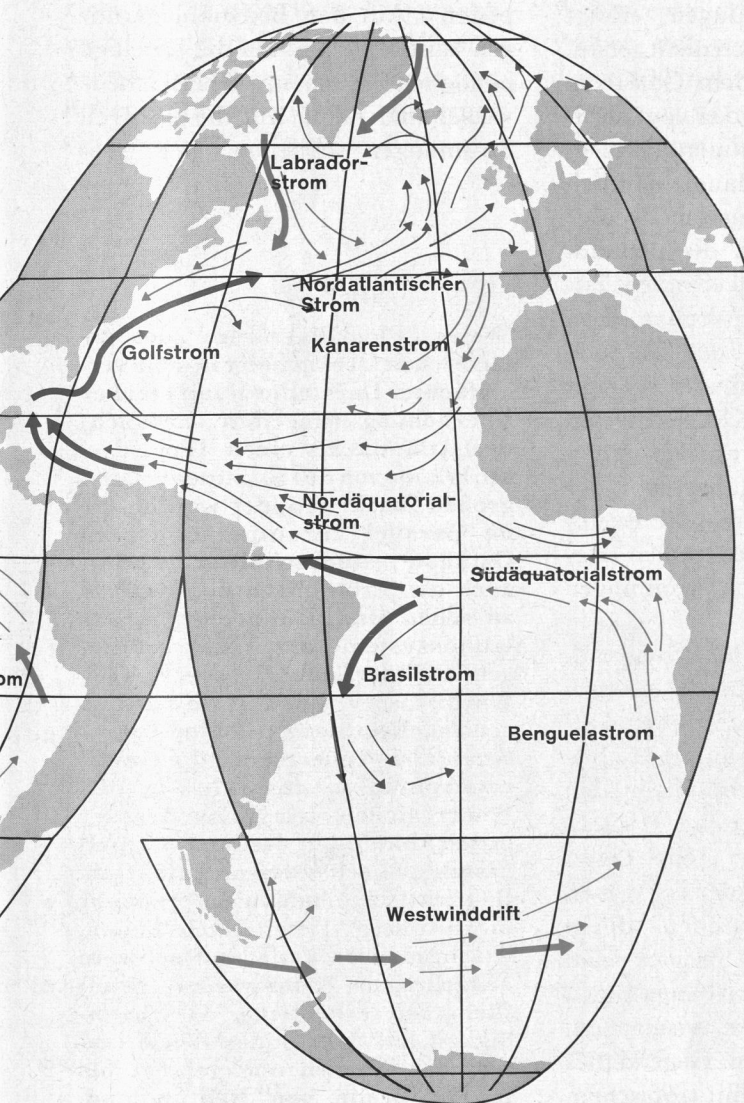
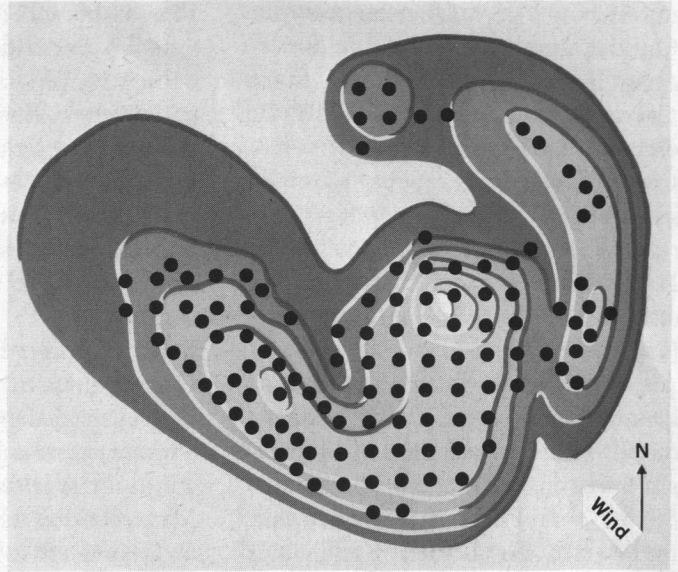
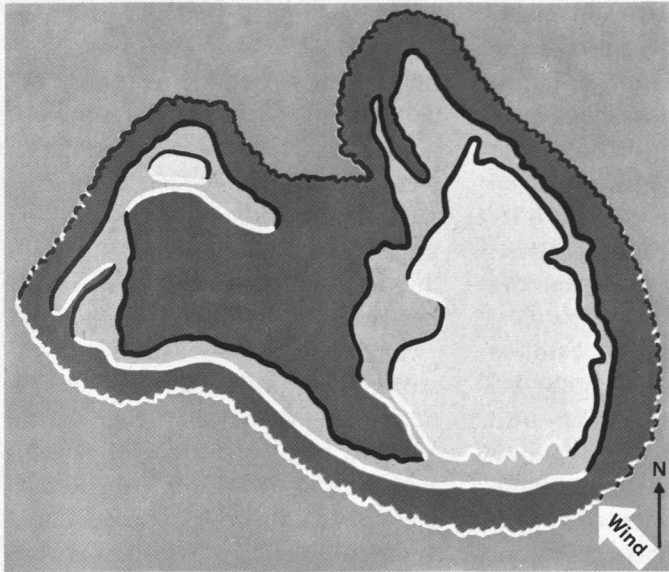
Der Geologe will dieses Geschehen aus zwei Gründen verstehen lernen. Wenn wir das Spiel zwischen Wasser und Sedimentbewegung durchschauen, können wir auch die zukünftige Entwicklung abschätzen und somit zweckdienliche Maßnahmen im Wasserbau und Küstenschutz empfehlen. Andererseits hat der Geologe hier ein aktuelles Modell für erdgeschichtliche Vorgänge vor sich: Seit dem Erdaltertum nämlich sind viele marine Gesteine gerade in solch flachem Wasser entstanden. Allerdings ist zu sagen, daß

die Strömungsverhältnisse in den Flachmeeren und in Küstennähe außerordentlich kompliziert sind. Winde, Gezeiten und das Relief des Meeresbodens wirken hier eng zusammen und erschweren die Deutung. Wir können vorerst nur sagen, daß die Strömungen im wesentlichen parallel zu den Küsten verlaufen.

Doch nun zu jenen großen Meeresströmungen, an die man wohl in erster Linie denkt: die weltweiten Triftströmungen. Diese Oberflächenströmungen werden im wesentlichen vom Wind angetrieben – was der Klassiker der physikalischen

Ozeanographie und „Pfadfinder der Meere“, M. F. Maury, schon 1855 erkannte: „Der Golfstrom erscheint nun dem denkenden Forscher nicht mehr nur als eine ungeheure Strömung warmen Wassers, sondern als ein Teil jenes großen Mechanismus, durch den Luft und Wasser miteinander in Harmonie gebracht werden.“ Tatsächlich sind diese Triftströmungen annähernd ein Abbild der großen Windsysteme der Erde – jener ständig wehenden oder regelmäßig im Wechsel der Jahreszeiten wiederkehrenden Winde, wie zum Beispiel der Passate und Monsune. Sobald die gewaltigen Wasser-





Im ganzen Verlauf der Erdgeschichte haben Meeresströmungen die Erdoberfläche verändert und ähnliche Formen hervorgebracht. Vorgänge in Gegenwart und Erdaltertum zeigen oft eine erstaunliche Analogie. Bild oben links: Die Gestalt dieser Korallenriff-Insel im Great Barrier Reef vor Ostaustralien wird von der Richtung des Windes und der damit verbundenen Meeresströmung bestimmt. Der stetige Südostpassat läßt die Korallen an der windzugewandten Seite (unten rechts) besonders aktiv wachsen. Abgestorbene Organismen dagegen werden von den Wellen zerrieben, von der Küstenströmung an die dem Wind abgewandte Seite getragen und dort abgelagert. Oben rechts: Das „Marine Reef“, ein Ölfeld in Illinois (USA), zeigt ähnliche Schuttfahnen, die sich an einen vergleichbaren Kern lagern. Die Gesteine stammen aus dem Silur, sind also über 200 Millionen Jahre alt und liegen mehr als 350 Meter tief unter anderen Schichten begraben – und doch kann man auf ähnliche Wellen- und Strömungsverhältnisse schließen wie bei dem ostaustralischen Korallenriff, ja sogar auf die gleiche vorherrschende Windrichtung. Die Punkte bezeichnen Bohrlöcher zur Gewinnung des Erdöls aus dem alten Riffkörper. – Karte links: Die großen Triftströmungen an den Oberflächen der Weltmeere (rot: Warmwasser, blau: kaltes Wasser).

massen an den Oberflächen der Ozeane durch die Winde in Bewegung gesetzt worden sind, führt dies zu Stauungen, das heißt zu einer Schiefstellung des Meeresspiegels, was zusätzliche „Gefällströmungen“ erzeugt, die sich den reinen Triftströmungen überlagern. Diese resultierenden Strömungen unterliegen aber auch noch anderen Kräften.

An erster Stelle ist dabei die sogenannte Corioliskraft zu nennen, die den Verlauf der großen Meereströmungen weitgehend bestimmt. Sie ist eine Folge der Erdrotation und wirkt zu beiden Seiten des Äquators in unterschiedlicher Weise: Auf der Nordhalbkugel der Erde sucht sie jede Bewegung nach rechts abzulenken, auf der Südhalbkugel nach links. So werden auch die Triftströmungen von der Corioliskraft abgelenkt, nördlich des Äquators rechtsherum, im Süden linksherum, und schließen sich zu ozeanweiten Wirbeln zusammen, die auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn umflossen werden, auf der Südhalbkugel entgegengesetzt.

Die gleiche Corioliskraft bewirkt auch, daß die Oberflächenströmungen an den Westseiten der Ozeane zu relativ schmalen, aber tiefen und schnell fließenden „Strömen“ gebündelt werden. Die Stromgeschwindigkeiten können an solchen Westseiten sehr hoch werden: Vor der ostafrikanischen Somali-Küste wurden an der Oberfläche bis zu 3,5 Meter pro Sekunde gemessen, im Golfstrom vor der nordamerikanischen Küste bis zu 2,5 Meter pro Sekunde. Die Strömung reicht dort bis in mehrere hundert Meter Tiefe, während sie sonst nur bis in eine Wassertiefe von 100 bis 200 Meter spürbar bleibt. Und hier haben wir eine erste geologische Wirkung dieser Strömungen: Die tiefe und reißende Strömung hält den Meeresboden frei von Ablagerungen, sie spült alles fort, was sich ansonsten absetzen würde. So hält der Golfstrom das Blake-Plateau östlich von

Florida bis in 1000 Meter Tiefe frei von Ablagerungen! Sogenannte Schichtlücken – fehlende Sedimentschichten – finden unter anderem dadurch ihre Erklärung: Meereströmungen haben die Ablagerungen verhindert. Unter dem Blake-Plateau bestätigt sich dies nach neuen Bohrungen für viele Perioden des Tertiär.

Eine wichtige Rolle spielten diese Oberflächenströmungen auch bei der Ausbreitung von Pflanzen- und Tierarten im Lauf der Erdgeschichte. Tiere beispielsweise, die auf dem Meeresboden leben, aber schwebende Larven erzeugen, breiten sich mit Hilfe einer solchen großräumigen Strömung rasch im Meer aus. Die Verbreitung muß sogar über ganze Ozeane hinweg – zum Beispiel von Nordamerika nach den Azoren – durch Meereströmungen erfolgt sein, nur weiß man noch nicht genau, wie. Die Reise mit dem Golfstrom von Cap Hatteras – wo er vom nordamerikanischen Kontinent abbiegt – nach den Azoren dauert nämlich rund 22 Wochen. Nur sehr wenige Larven gibt es aber, die planktonisch – also im schwebenden Zustand – länger als 12 Wochen leben können. So bleibt es zunächst noch rätselhaft, wie sich in der Vorzeit Meerestiere und Kleinlebewesen über Ozeane hinweg verbreiten konnten. Vielleicht aber half der Zufall mit: daß erwachsene Exemplare etwa auf Baumstämmen oder auf Großalgen mit den Strömungen schwammen.

Die für die Erdgeschichte bedeutendste Auswirkung der Oberflächenströmungen besteht jedoch in der Tatsache, daß diese weiträumigen horizontalen Wasser-Kreisläufe in den Weltmeeren „biologische Breiten-Zonen“ hervorrufen. Jede dieser Zonen hat ihre besonderen Formen von Plankton-Organismen, deren kalkige oder kieselige Skelette einen wesentlichen Teil der Ablagerungen auf dem Meeresboden ausmachen. So findet sich in der Gegend des Äquators ein Gürtel mit tropischem

Plankton, nach Norden anschließend eine Zone mit warm-gemäßigten Formen, dann eine „boreale“ Zone und schließlich eine Zone mit arktischen Plankton-Formen. In den letzten Jahren hat sich herausgestellt, daß einige dieser Tierarten ungemein charakteristisch sind für die in den einzelnen Zonen vorherrschenden Wassermassen, und zwar gerade für den von den Triftströmungen beeinflussten Bereich nahe der Meeresoberfläche, denn letztlich hängen ja alle diese Plankton-Organismen direkt oder mittelbar vom Sonnenlicht ab. Zu ihnen gehören Einzeller, wie die Kieselalgen (Diatomeen), Kugeltierchen (Globigerinen) und Strahlentierchen (Radiolarien), aber auch Mehrzeller, wie Flügelschnecken (Pteropoden) und Ruderfußkrebse (Copepoden). Aus den Bodenablagerungen kann man also auf die jeweilige biologische Zone im Oberflächenwasser und damit auf die dortigen Strömungen schließen. Der Geo-

Dieses „Blockdiagramm“ des Atlantischen Ozeans zeigt in sehr vereinfachter Darstellung und starker Überhöhung (ungefähr 1300fach) den Atlantik als einen Trog, dessen Wände von den Kontinenten und großen Inseln gebildet werden. Er ist parallel zur amerikanischen Ostküste aufgeschnitten, damit auch die Strömungen in der Tiefe zu sehen sind. Die großen Zirkulationssysteme der Triftströmungen im Oberflächenwasser führen Warmwasser aus der Äquatorgegend nach Norden und Süden. In größerer Tiefe beherrschen die Gradientenströmungen das Bild: In den Polarregionen wird das Wasser durch Abkühlung, Verdunstung und Eisbildung schwerer und sinkt ab. Das arktische Tiefenwasser strömt in mittleren Tiefen nach Süden, das besonders kalte und schwere Antarktische Bodenwasser (grün) fließt mit erheblicher Geschwindigkeit auf dem Boden des Atlantik nach Norden und gelangt bis in die Breite von Neufundland.

loge ist dadurch in der Lage, aus älteren Tiefsee-Ablagerungen frühere ozeanische Zustände zu rekonstruieren. Dies geschieht mit Hilfe von Sedimentkernen, die mit geeigneten Geräten aus dem Meeresboden entnommen, im wesentlichen ausgestanzt werden. Längen von 10 bis 20 Metern sind dabei keine Seltenheit, Durchmesser unter 10 Zentimeter die Regel.

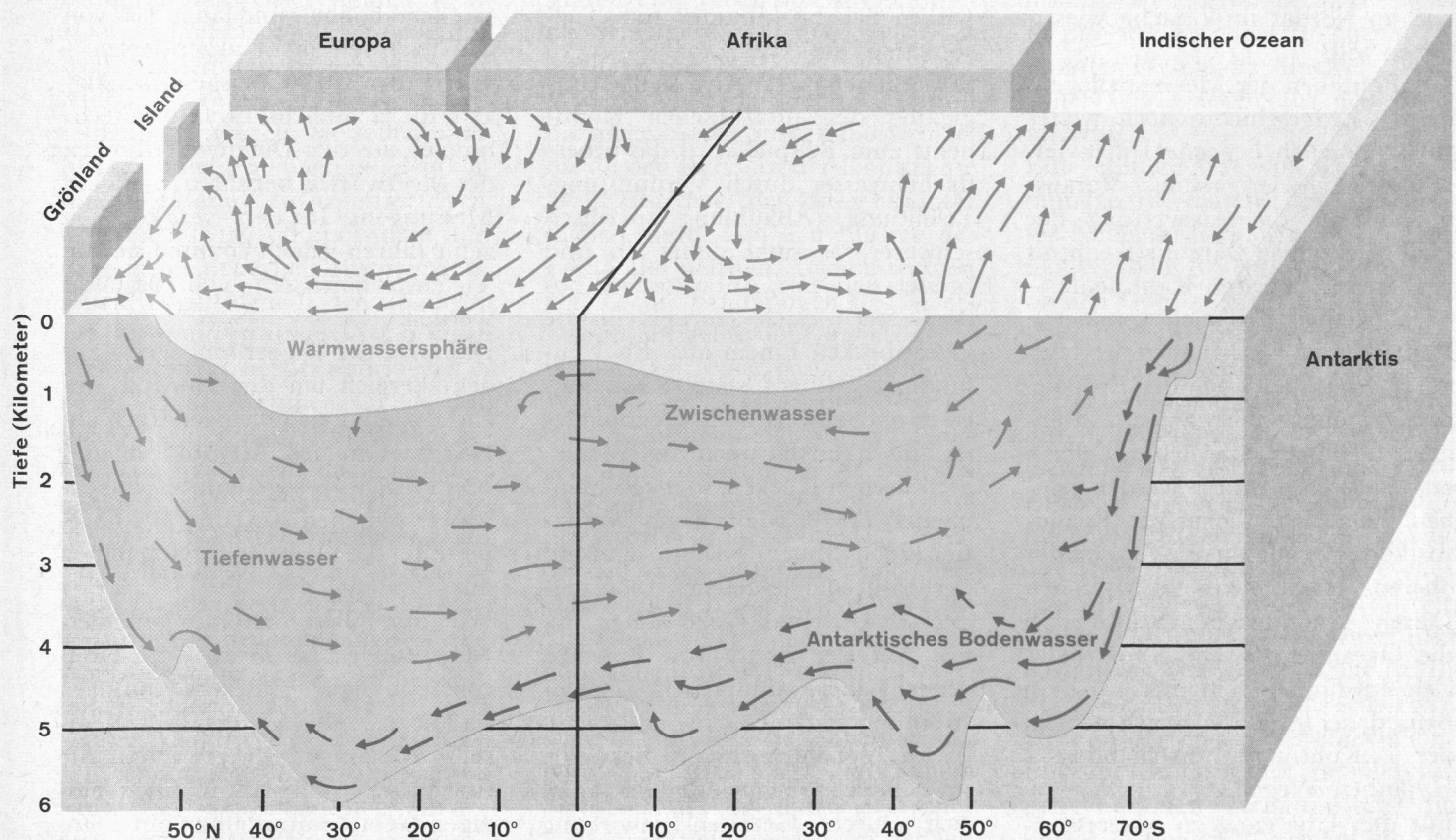
So nimmt man gegenwärtig beispielsweise an, daß im Verlauf der Kaltzeiten des Pleistozäns – während der letzten Eiszeiten also – die genannten biologischen Zonen zum Äquator hin zusammengedrängt waren. Danach hätten damals die „Kalt“-Arten der Plankton-Organismen weiter nach Süden gereicht als heute. Die deutsche atlantische „Meteor“-Expedition in den zwanziger Jahren ging dieser Frage nach und konnte, indem sie die Häufigkeits-Maxima der Kalt-Arten in den Bodenproben verfolgte, zu einer Gliederung in Kalt- und Warm-

perioden des Pleistozäns, also zu erdgeschichtlichen Aussagen kommen. Beispielsweise gelang es W. Schott damals, anhand des Nachweises der Verteilung der Kugeltierchen (Globigerinen) das Ende des Pleistozäns und den Beginn des Holozäns – der nach-eiszeitlichen erdgeschichtlichen Gegenwart – festzulegen.

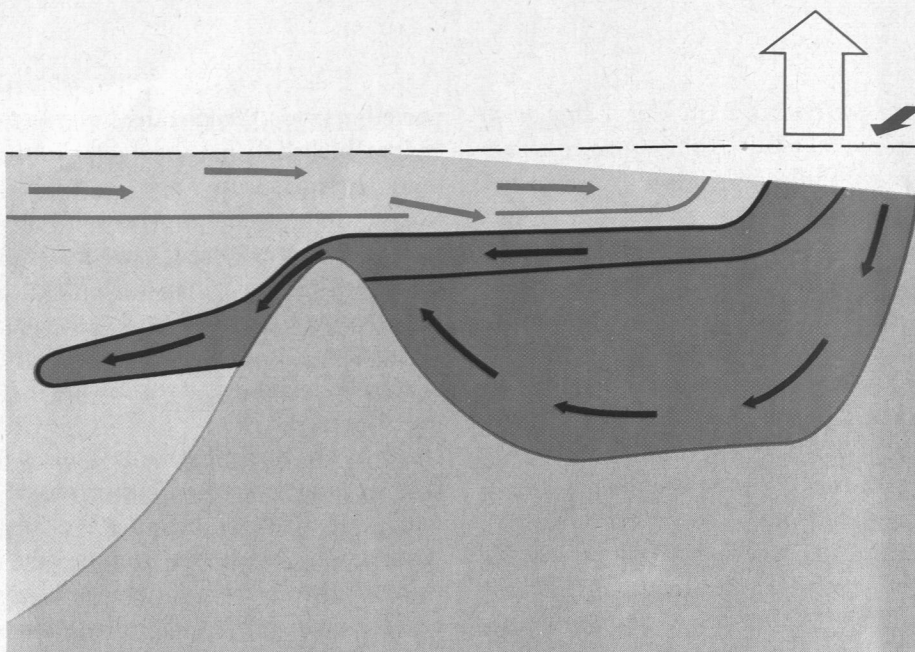
Noch ältere Sedimente aus Tiefsee-Bodenproben verraten ihr geologisches Alter, wenn klassische paläontologische Methoden angewendet werden. Das Tertiär dauerte ja über 60 Millionen Jahre – eine Zeitspanne, die im Gegensatz zu der knappen Million Jahre des Pleistozäns ausreichte für die stammesgeschichtliche Weiterentwicklung einiger Arten von planktonischen Organismen. Bis heute sind vom Grund der Weltmeere rund 1000 voreiszeitliche Proben entnommen worden, von denen 600 in ihrem geologischen Alter genauer datiert werden konnten. Die ältesten bisher untersuchten

stammen von der Westseite des Nordatlantik und aus der unteren Kreide – vor rund 120 Millionen Jahren –. Viel Material liegt demnach noch nicht vor, und es ist überdies unregelmäßig verteilt. Trotzdem glauben die Bearbeiter, daß man zum Beispiel die biologischen Zonen im Pazifischen Ozean mit Sicherheit bis in das Miozän – vor 25 Millionen Jahren – zurückverfolgen kann, die Verteilung speziell der Strahlentierchen (Radiolarien) sogar bis in das Eozän (50 Millionen Jahre), und dies auch für den Indischen Ozean.

Nach dem, was über die damalige Pflanzenwelt an Land bekannt ist, kann man darüber hinaus vermuten, daß schon im Alttertiär – Paleozän, Eozän, Oligozän – die Ostseiten der Ozeane, zum Beispiel Alaska und Skandinavien, günstigere Klimata hatten als gleiche geographische Breiten auf den Westseiten der Meere, also Labrador und die Gebiete nördlich von Japan. Daraus



Links: Die Nebenmeere stehen in ständigem Wasseraustausch mit den Ozeanen. Beim „trockenen“ (ariden) Modell (Beispiel Mittelmeer) wird das Wasser durch die starke Verdunstung (offener roter Pfeil) salzreicher und dichter, sinkt ab und fließt auf dem Boden dem Ozean zu. Der Wasserverlust wird durch an der Oberfläche einströmendes Ozeanwasser ausgeglichen. – Rechtes Bild: Das „feuchte“ (humide) Modell (Beispiel Ostsee). Niederschläge und Wasserzufuhr der Flüsse (voller roter Pfeil) überwiegen die Verdunstung. Das überschüssige Wasser fließt an der Oberfläche zum Ozean hin, während in der Tiefe dichteres Ozeanwasser eindringt.



aber läßt sich der vorläufige Schluß ziehen, daß die Ozeane schon zu Beginn der Tertiärzeit in großen Zügen wie heute ausgesehen haben – abgesehen allenfalls von einer seitherigen Ost-West-Erweiterung, wie man sie mit wechselnden Geschwindigkeiten von einigen wenigen Zentimetern pro Jahr im östlichen Pazifik und im Nordatlantik nachgewiesen haben will.

Das Bestreben der Meeresgeologen, in der Erdgeschichte noch weiter zurückzugehen, begegnet leider vielfältigen Schwierigkeiten: Voraussetzung für die Auswertung der Untersuchungen wäre die Kenntnis der Verteilung der Kontinente – nach Möglichkeit auch von deren Relief – und des genauen Verlaufs der Küsten, der Lage der Erdpole, der Neigung der Erdachse und anderer Faktoren, die heute vielfach erst spekulativ erfaßt werden können. Ein neuerer Versuch der Rekonstruktion der Weltmeere zur Zeit der oberen Kreide – vor 90 Millionen Jahren – kommt zu dem Schluß, daß die Ozeanbecken lange vor dieser Zeit entstanden sein müssen – ein Befund, der im Widerspruch steht zu der „Kontinentalverschiebung“-Hypothese Wegeners.

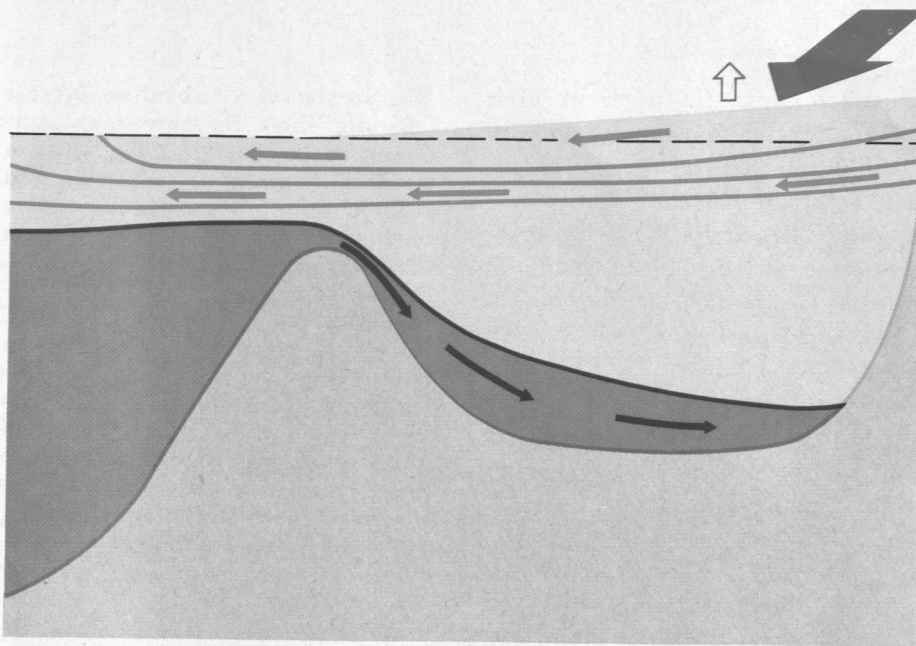
Für den Übergang zu Meeresströ-

mungen ganz anderer Art empfiehlt sich die Betrachtung des „Blockdiagrammes Atlantik“ (Bild auf Seite 597). Das Neue sind die sogenannten Gradientenströmungen, die von Dichteunterschieden im Meerwasser verursacht werden. Sie verlaufen nicht wie die Triftströmungen an der Oberfläche der Ozeane, sondern wirken sich bis hinunter zum Tiefseeboden aus. Wie kommt es zu Strömungen dieser Art? In der Umgebung des antarktischen Kontinents zum Beispiel wird das Oberflächenwasser durch Verdunstung, Eisbildung, Abkühlung spezifisch schwerer, es sinkt daher ab und breitet sich als „Antarktisches Bodenwasser“ nach Norden in die Ozeanbecken hinein aus. Bis Neufundland an der Ostspitze Kanadas ist es nachzuweisen! Es überwindet in Einsenkungen auch den Mittelatlantischen Rücken, so im Romanchetief (7370 Meter), im Vema-tief (7856 Meter) oder in dem auf der Fahrt der „Meteor“ 1966 entdeckten Durchlaß (7028 Meter Tiefe). Auf der Breite von Brasilien erreicht diese antarktische Tiefenströmung sogar Geschwindigkeiten bis zu 12 Zentimeter pro Sekunde, und diese Geschwindigkeit kann sich durch Gezeiten-Einwirkung

noch verdoppeln. Geologisch wichtig ist dies: Solche Bodenströme sind durchaus in der Lage, Ablagerungen aufzuwirbeln und zu transportieren. Strömung des Tiefseebodens, freigelegte tertiäre Schlämme und die Vermischung von Mikro-Lebewesen verschiedenster geologischer Alter beweisen diese überraschend hohen – und lange Zeit von der Fachwelt nicht akzeptierten – Werte der Strömungsgeschwindigkeit, die ja zunächst nur auf Berechnungen aus den Dichteverteilungen des Meerwassers beruhten, nicht auf Messungen. In den vergangenen zehn Jahren jedoch konnten sie von Tiefenstrommessern voll bestätigt werden.

Das arktische Wasser hingegen – aus dem Bereich um den Nordpol der Erde – kühlt sich weniger stark ab. Es dringt in den Atlantik ein und breitet sich als sogenanntes Tiefenwasser zwischen 1000 und 4000 Meter unter der Oberfläche nach Süden aus.

Wo nun diese Strömungen den Meeresboden berühren – am Kontinentalhang etwa, dessen Konturen sie folgen –, sind gleichfalls geologische Wirkungen zu erwarten. Sie sind jedoch bisher erst in einem einzigen Gebiet unmittelbar mit Foto-



grafien und Messungen nachgewiesen worden: in 3000 bis 4000 Meter Tiefe östlich des bereits erwähnten Blake-Plateaus vor Florida und auch nördlich davon. Auch in diesen Bereichen wurden Ausspülungen um Hindernisse, Strömung des Meeresbodens, Rippelmarken und ähnliche Strömungshinweise gefunden. B. C. Heezen glaubt neuerdings sogar, daß derartige Strömungen erheblich zum Aufbau der Fußregion der Kontinentaltalhäufe beitragen. Sie sollen nämlich turbulent genug sein, feinkörniges Material zu transportieren, ihre Turbulenz soll aber nicht ausreichen, es neuerlich aufzuwirbeln, sobald es auf dem Boden abgesetzt ist. Strömungen dieser Art bringen also Sediment herbei und lagern es endgültig ab. Nehmen wir an, daß dieses stark vereinfachte Modell zutrifft, so müssen wir doch im Auge behalten, daß durch die schon früher erwähnte Corioliskraft und andere Effekte auch diese Tiefenströmungen am Westrand der Ozeane verstärkt werden und am Ostrand vergleichsweise viel schwächer sein sollten. Der Kontinentalfuß von Westafrika oder Europa muß mithin ganz andersartig aufgebaut worden sein. Wie, weiß man noch nicht, doch zeigt dieses Beispiel, in welche

Bewegung die Meeresgeologie in den letzten Jahren geraten ist: Die jahrzehntelang in ihrer Bedeutung verkannten großen Tiefen der Ozeane, in denen lediglich in unveränderlich gleichmäßigem „Schneefall“ organische wie anorganische Partikel zur ewigen Ruhe gebettet werden sollten, entpuppen sich unvermittelt als Schauplatz bedeutsamer geologischer Vorgänge!

Wieder von ganz anderer Art sind die sogenannten Suspensionsströme, die an den Rändern der Kontinente als „Fallströme“ den Hang hinunter fließen, darin also den Flüssen des Festlandes gleichen. Auch sie werden von Dichte-Erhöhungen des Meerwassers ausgelöst und angetrieben, jedoch auf eine ganz besondere Weise: Kommt es beispielsweise an den Kontinentaltalhängen zu Rutschungen, so werden feinste Teilchen aufgewirbelt, wodurch die Dichte des Wassers größer wird. Das durch die aufgeschwemmten (suspendierten) Teilchen „schwerere“ Wasser fließt den Hang hinunter, wirbelt dabei noch mehr Feinkörniges auf, erhöht dadurch seine Dichte noch weiter und steigert entsprechend seine Geschwindigkeit. Durch diese Selbstverstärkung nach Art einer Kettenreaktion werden schließlich

hohe Geschwindigkeiten erreicht: vor Neufundland zum Beispiel über 20 Meter pro Sekunde! Derartige Suspensionsströme sind mit katastrophalen Lawinenfällen vergleichbar.

Diese erstaunlichen Strömungen sind seit dem letzten Krieg intensiv untersucht worden – unter anderem aus diesem Grund: Suspensionsströme zerreißen gelegentlich Tiefseekabel am Kontinentallhang und auch noch weit davor. Von ihren geologischen Auswirkungen sind als besonders wichtig zu nennen: sie tragen durch Ausschwemmung (Erosion) wesentlich zur Entstehung von Unterwasser-Canyons bei, ja sie sind wohl in einem Teil dieser Fälle sogar allein für deren Entstehen verantwortlich; sie transportieren Ablagerungen aus geringen Meerestiefen in einem Akt in die Tiefsee und oft viele hundert Kilometer weit vor den Kontinentalfuß; sie bauen auf diese Weise die eindrucksvollsten Ebenen der Erde auf. Außerdem sind diese Suspensionsströme zum Modell geworden für den Entstehungsmechanismus ganzer kilometerdicker Sedimentserien der Vorzeit – des sogenannten Flyschs der Alpen etwa und vieler Grauwacken aus dem Erdaltertum.

Eine weitere Art von Dichteströmungen trifft man bei den sogenannten Nebenmeeren an, wie dem Mittelmeer, dem Roten Meer, dem Persischen Golf oder der Ostsee. Zwei Fälle sind zu unterscheiden: Übertreffen in den Nebenmeeren die Niederschläge und die Wasserzufuhr durch Flüsse an Ergiebigkeit die Verdunstung des Meeresswassers, so entstehen sogenannte „humide“ (feuchte) Modellfälle, in denen das überschüssige Wasser zum offenen Meer fließt, und zwar an der Oberfläche, da es ja salzärmer und darum von geringerer Dichte ist. In der Tiefe aber dringt das schwerere Ozeanwasser in das Nebenmeer ein. Ein gut untersuchtes Beispiel für diese humiden Verhältnisse ist die Ostsee. Geologisch bedeutsam ist

der Umstand, daß die Schichtung der beiden Wasserkörper trotz örtlich begrenzter Vermischungsvorgänge im ganzen erhalten bleibt. Das leichtere Oberflächenwasser schirmt aber das Bodenwasser von der Luft ab und behindert dadurch den Ersatz des am Meeresboden verbrauchten Sauerstoffs. Infolge dieser Sauerstoff-Verarmung in der Tiefe bleibt in den Ablagerungen besonders viel organisches Material erhalten: Man findet in den Sedimenten stellenweise bis zu zehn Prozent organisch gebundenen Kohlenstoff. Solche Bedingungen herrschten in süddeutschen Meeresräumen während des unteren Jura – vor 180 Millionen Jahren –, in den norddeutschen auch während der Unterkreide – vor 120 Millionen Jahren.

Von „ariden“ (trockenen) Modellfällen dagegen spricht man, wenn in einem Nebenmeer mehr Wasser, als ihm durch Niederschläge und Flüsse zugeführt wird, verdunstet. Dabei werden Verluste durch Einstürmen aus dem offenen Meer – hier aber an der Oberfläche! – ersetzt. Das durch Verdunstung salzreicher gewordene Wasser des Nebenmeeres sinkt auf den Boden ab und strömt auf ihm zum Ozean. Solche Verhältnisse liegen etwa beim Mittelmeer vor; zum Paradebeispiel ist aber der Persische Golf geworden. Geologisch wichtig ist hier die Tatsache, daß das absinkende Wasser Sauerstoff von der Oberfläche mitnimmt, der dann unten auf dem Meeresboden organisches Material oxydiert. Dementsprechend ist hier der Gehalt der Sedimente an organisch gebundenem Kohlenstoff nur sehr gering – im Persischen Golf liegt er unter zwei Prozent. Die hohen Temperaturen, hohe Salzgehalte und Verdunstungswerte lassen an den südlichen Rändern dieses Golfs Gips, Aragonit und Dolomit entstehen. Das durch die Straße von Hormuz aus dem Golf austretende Bodenwasser transportiert typische Sediment-Partikel in den Golf von

Oman hinaus, die noch in über 100 Kilometer Entfernung und in 2000 Meter Tiefe nachgewiesen werden konnten. Kürzlich konnte der erhöhte Salzgehalt dieses Ausstromwassers sogar bis Südostarabien und in die Gewässer vor dem südlichen Vorderindien hinein verfolgt werden!

Noch eindrucksvoller aber ist die direkte geologische Wirksamkeit des Ausstromwassers des Mittelmeeres. Es fegt die tieferen Teile der Straße von Gibraltar von Ablagerungen frei. Nur grobes Material kann sich bei Strömungsgeschwindigkeiten von über zwei Metern pro Sekunde dort halten. Der Strom biegt nach dem Verlassen der Straße unter der Einwirkung der Corioliskraft nach Nordwesten um und sinkt dabei in den Atlantikgewässern ab in die seiner Dichte entsprechende Tiefe: mit seiner Unterkante bis rund 1000 Meter. Das mitgeführte Material aber wird an geeigneten Stellen abgesetzt. Der Ausstrom aus dem Mittelmeer beherrscht die Sedimentation sogar noch in einer Entfernung von 240 Kilometer von der Straße von Gibraltar – am Fuß des Kontinentalhangs vor Süd-Portugal, und zwar nach Sediment-Echogrammen der „Meteor“-Forschungsfahrt im Januar 1967 in Schichtmächtigkeiten von über 500 Metern!

Alle besprochenen Beispiele zeigten einen erheblichen Einfluß von Meeresströmungen auf die Bildung von Sedimenten. Es sei noch erwähnt, daß mit dieser direkten geologischen Wirksamkeit auch eine indirekte verbunden ist: Die Sedimentation steht nämlich ihrerseits in Wechselwirkung mit Vorgängen in der Tiefe der Erdkruste – von Sedimenten belastete Bereiche des Meeresbodens können absinken und dadurch Hebungen an anderer Stelle auslösen, um nur ein Beispiel zu nennen. So kann man sagen, daß Meeresströmungen für die Gesamtheit der geologischen Vorgänge in Gegenwart und Vergangenheit von Bedeutung sind.

Die Straße von Gibraltar ist die Öffnung eines Nebenmeeres zum Ozean in „trockenem“ Gebiet. Ein starker Strom salzreichereren und schwereren Mittelmeerwassers tritt über die Bodenschwelle in den Atlantik aus. Er ist ein gutes Beispiel für die geologische Wirksamkeit von Meeresströmungen. Wie die Karte zeigt, wird der Strom nach dem Verlassen der Gibraltarstraße nach Nordwesten abgelenkt – eine Wirkung der Corioliskraft. Die mitgeführten Sedimente können erst mit zunehmender Verbreiterung und Verlangsamung der Strömung abgelagert werden, zu einem erheblichen Teil erst vor der Südküste Portugals. – Darunter: Dieses von dem Forschungsschiff „Meteor“ aufgenommene Sediment-Echogramm zeigt eindrucksvoll, wie der Mittelmeer-Ausstrom noch in großer Entfernung die Sedimentation beherrscht. Das Echogramm wurde vor der Südküste Portugals aufgenommen längs der in der oberen Karte weiß eingetragenen Strecke und gibt in einem vertikalen Schnitt den Aufbau des Meeresbodens aus einer großen Zahl von Sedimentschichten deutlich wieder. Entfernungs- und Tiefenskala sind angegeben: Der blaue Balken hat die Länge 2,4 Kilometer, der schwarze entspricht einer Höhe von 75 Metern.

